

文章编号: 0258-7106(2009)03-0366-15

中非刚果(金)加丹加铜钴矿带 主要矿化类型及特征*

李向前^{1,2}, 毛景文³, 闫艳玲⁴, 高洪山², 李蒙文², 徐宪立⁴

(1 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2 万宝矿产有限公司, 北京 100053; 3 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 4 河南省有色金属地质矿产局第六地质大队, 河南 洛阳 471002)

摘要 文章在总结前人研究成果的基础上, 结合野外勘查实践与认识, 简要概括了加丹加铜钴矿带的区域地质背景、岩石地层划分、构造演化及沉积环境的变迁、铜钴矿床的空间分布及层控特征。在同生沉积成因理论的基础上, 依据铜钴矿床在卢菲利弧内的空间分布规律、加丹加造山运动对矿床的改造程度, 将加丹加铜钴矿带的层状铜钴矿床归纳为受 D1 变形作用改造的同生沉积铜钴矿床以及受 D2-D3 变形作用改造的同生沉积-热液改造铜钴矿床 2 种类型。前一类型矿床主要分布在外部褶皱推覆带的北侧, 赋矿地层为罗安群的矿山亚群, 褶皱构造控制着矿体的形态与空间展布, 矿床受热液改造的程度低, 氧化程度亦较低, 氧化带深度一般为 20~50 m, 带内矿石矿物以孔雀石和辉铜矿为主, 铜主要以结合氧化铜形式存在, 矿床的钴含量相对较低, 铜钴比值较大。后一类型矿床主要分布在外部褶皱推覆带的南侧, 赋矿地层为罗安群的迪佩特亚群和木瓦夏亚群, 线型构造如韧性剪切带控制着矿体的形态及空间展布, 矿体呈层状、似层状, 受热液改造程度高, 矿床氧化程度较高, 氧化带最深可达 300 m, 带内矿石矿物以孔雀石和水钴矿为主, 钴含量高, 铜钴比值小, 铜和钴主要以自由氧化铜及自由氧化钴形式存在。文章解说了典型矿床的特征, 并指出了进一步找矿的方向。

关键词 地质学 加丹加铜钴矿带 矿床类型 刚果(金)

中图分类号: P618.41; P618.62

文献标志码: A

Regional geology and characteristics of ore deposits in Katangan copper-cobalt belt within Congo (Kinshasa), Central Africa

LI XiangQian^{1,2}, MAO JingWen³, YAN YanLing⁴, GAO HongShan², LI MengWen² and XU XianLi⁴

(1 School of Earth and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Wanbao Mining Co. Ltd., Beijing 100053, China; 3 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 4 No. 6 Geological Party, Henan Nonferrous Metals Exploration Bureau, Luoyang 471002, Henan, China)

Abstract

Regional geological setting, stratigraphic classification, depositional environment, tectonic evolution, spatial distribution and stratabound behaviors of copper-cobalt deposits in the Katangan Cu-Co belt are described briefly in this paper. On the basis of syngenetic-diagenetic theory and according to the spatial distribution of Cu-Co deposits in Lufilian arc and the reformation extent affected by Katanga orogeny, the stratabound Cu-Co deposits can be classified into two principal types: (1) syngenetic-diagenetic deposits reformed by D1 deformation, and (2) epimetamorphic sedimentary-hydrothermal metasomatic deposits reformed by D2-D3 deformation. Cu-

* 本文得到财政部 2007 年国外矿产资源风险勘查专项(财建(2007)482 号)资金的资助

第一作者简介 李向前,男,1971 年生,在职博士研究生,高级工程师,长期从事国内外地质矿产勘查工作。Email: lxq@wbr.com.hk
收稿日期 2009-01-04; 改回日期 2009-04-10。许德焕编辑。

Co deposits reformed by D1 deformation are mainly located on the northern flank of the external fold-thrust belt, which have the following characteristics: ore-hosted strata are Mine Subgroup of Roan Group; the form and spatial distribution of ore bodies are controlled by fold structure; hydrothermal reformation and oxidation are of low degree, generally 20 to 50 m from the surface; ore minerals within the oxidized zone mainly include malachite and chalcocite; Cu occurs mainly in the form of integrated oxides, and cobalt content is relatively low with a high copper/cobalt ratio. Cu-Co deposits reformed by D2-D3 deformation are mainly located on the southern flank of the external fold-thrust belt, which have the following characteristics: ore-hosted strata are Mwashya Subgroup and Dipeta Subgroup of Roan Group; the form and spatial distribution of ore bodies are controlled by linear structures such as the shear zone; ore bodies exhibit stratiform or layered forms; hydrothermal reformation and oxidation are of high degree, up to 300 m from the surface; ore minerals within the oxidized zone mainly include malachite and heterogenite; Cu and Co occur mainly in the form of unrestricted oxides; cobalt content is relatively high, with a low copper/cobalt ratio. Geological features of typical deposits are also described, and further prospecting directions are pointed out.

Key words: geology, Katangan copper-cobalt belt, type of deposits, Congo (Kinshasa)

中非铜带(卢菲利弧)产于横跨刚果(金)与赞比亚两国的加丹加弧形构造带(又称加丹加带)内,为一巨型铜成矿省,带内已知矿床中含有 1.4 亿吨铜和 6 百万吨钴金属。而该带刚果(金)段的铜钴矿床,含铜高达 5 800 万吨,含钴达 460 万吨,分别占中非铜带铜、钴资源(储量)的 41% 和 77%(Cailteux et al. 2005)。地球化学研究表明,中非铜带内赞比亚式富钴矿床的钴、铜比达 1:15,平均 1:57(谦比西铜矿床东南矿体的钴、铜比约为 1:22),而刚果(金)富钴矿床的钴、铜比可达 3:1,平均为 1:13(Cailteux et al. 2005)。因此,中非铜矿带是众多矿业公司所关注的地区。

本文为突出刚果(金)加丹加超群内铜矿床中钴矿产的规模及经济意义,特将中非铜带刚果(金)段称为加丹加铜钴矿带。本文在前人资料的基础上,结合近年来的野外勘查和现场调查成果,总结了加丹加铜钴矿带的区域地质特征、矿床的空间分布及层控特征、矿床地质特征,进一步完善了地层划分方案,探讨了受加丹加造山运动第 1 阶段变形作用改造的同生沉积铜钴矿床,以及受加丹加造山运动第 2、第 3 阶段变形作用改造的同生沉积-热液改造铜钴矿床的成矿机理,以进一步推动对该矿带地质找矿工作的开展。

1 区域地质背景

加丹加带是由新元古代加丹加超群变质沉积岩组成的向北凸的泛非造山带(Mendelsohn, 1961;

Cailteux et al., 1994),其北西紧邻太古宙刚果克拉通和中元古代基巴拉带,北东东与班韦乌卢(又称巴克维普)地块相连,南南东与古-中元古代伊鲁米迪地块和中元古代乔马-卡洛莫地块相邻。该带从北到南分为 5 个构造单元(Unrug, 1988):加丹加坳拉槽(V),外部褶皱推覆带(I),穹隆区(II),复向斜带(III),加丹加高原(IV)(图 1)。前 3 个构造单元构成中非铜带,铜钴矿化主要发育在外部褶皱推覆带(I)。

中非铜带自北西端的刚果(金)科卢韦齐地区,经卢安夏(Luanshya)隆希(Lonshi),至南东端赞比亚境内的 Mwembeshi 断裂带,长逾 700 km,宽逾 150 km。加丹加铜钴矿带是指中非铜带的刚果(金)段,西起刚果(金)加丹加省科卢韦齐市西坎莫托(Kamoto)矿床,经腾凯-丰古鲁梅、利卡西,向东至卢本巴希东南的肯森达(Kinsenda)矿床一带,长逾 300 km,宽 100~150 km。

加丹加超群厚约 5~10 km,自下而上分为 3 个单元:罗安群,恩古巴群,昆代隆古群(Batumike et al. 2006)(表 1)。罗安群由滨海-浅海-深海相的碎屑沉积岩和碳酸盐岩(主要是白云岩及白云质页岩)组成(Kampunzu et al. 2005),恩古巴群和昆代隆古群主要由碎屑沉积岩(砾岩、砂岩、粉砂岩、砂质页岩)组成(Batumike et al. 2006)。恩古巴群底部的大砾岩以及昆代隆古群底部的小砾岩都是冰川成因的陆源混积岩,分别与全球成冰纪(约 730 Ma)和马里诺冰川事件(约 635 Ma)有关(Hoffmann et al., 2004)。

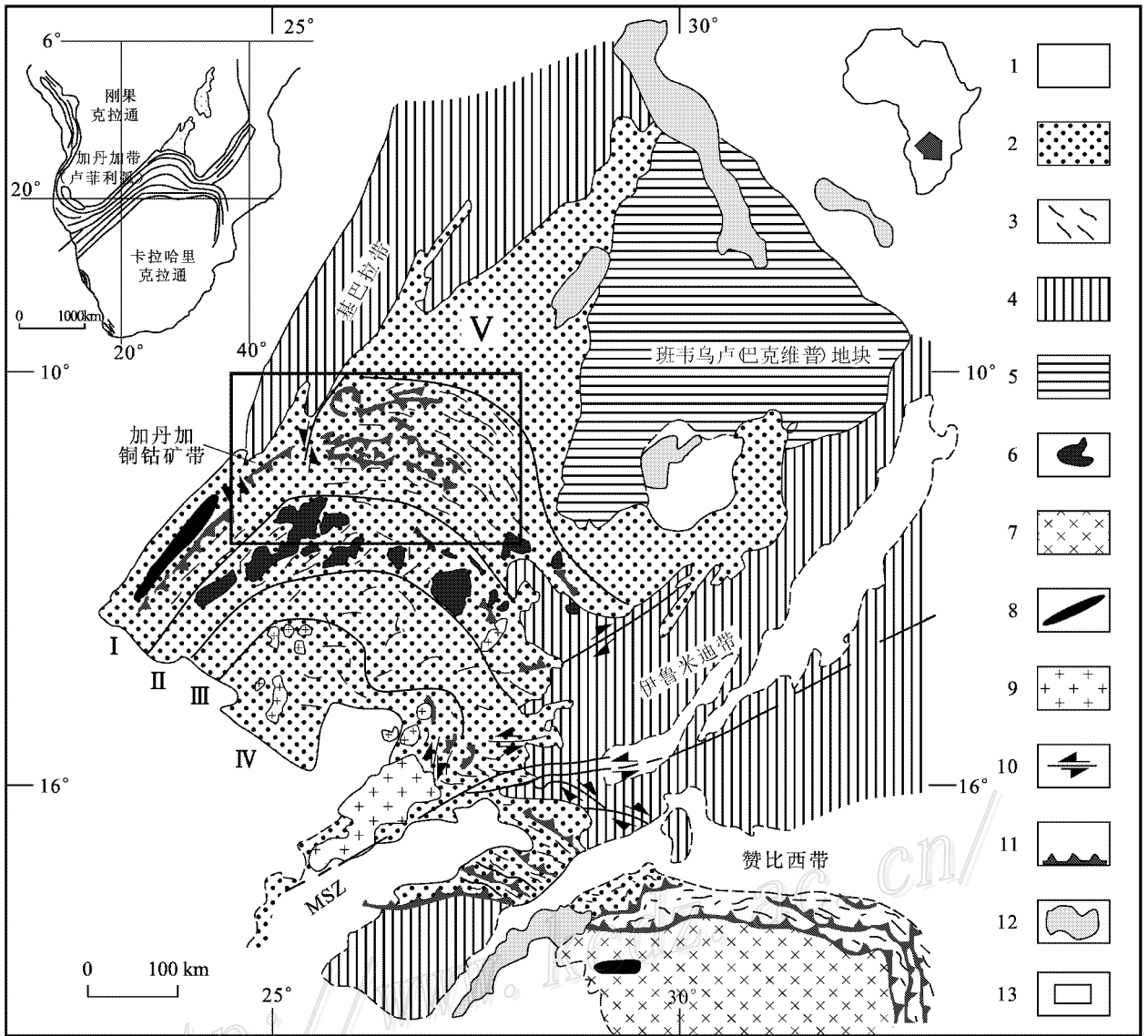


图1 加丹加铜钴矿带区域地质简图(据 Kampanzu et al. 2005 改编)

- 1—后古生界；2—具有构造方向的加丹加超群；3—赞比西带变质沉积岩和剪切基底；4—受基巴拉造山运动(1.4~1.6 Ga)影响的区域；5—班韦乌卢地块基底与沉积盖层；6—加丹加带内的基底；7—太古宙及古元古宙基底；8—加丹加镁铁质火成岩；9—加丹加超群内花岗岩质岩石；10—走滑断层；11—推覆构造；12—湖泊；13—加丹加铜钴矿带范围；I—外部褶皱推覆带；II—穹窿地区；III—复向斜带；IV—加丹加高原；V—加丹加坳拉槽；MSZ—Mwembeshi 剪切带

Fig. 1 Simplified regional geological map of the Katangan copper-cobalt belt(modified after Kampanzu et al. 2005)

- 1—Post-Palaeozoic；2—Katanga Supergroup, with trending lines；3—Metasedimentary rocks and sheared basement in Zambezi belt；4—Areas affected by the Kibaran orogeny (1.4~1.6 Ga)；5—Basement and sedimentary cover of Bangweulu Block；6—Basement inlier in Katangan belt；7—Archaean-Palaeoproterozoic basement；8—Katangan mafic igneous rocks；9—Granitoids, partly intruding into Katangan Supergroup；10—Strike-slip fault；11—Thrust；12—Lake；13—Limits of Katangan copper-cobalt belt；I—External fold-thrust belt；II—Domes area；III—Synclinal belt；IV—Katanga highland；V—Katanga aulacogen；MSZ—Mwembeshi sheared zone

新元古代造山带上地壳岩层序列的演化持续了约5亿年。1 000~700 Ma 期间,开始发生板块内岩浆活动和裂谷作用,880 Ma 时开始出现加丹加超群的沉积作用(Armstrong et al., 2005),至 765~735

Ma 沉积形成罗安群,加丹加盆地亦由陆内裂谷演变成原始大洋裂谷(Barron et al., 2003)。750~600 Ma 发生刚果克拉通和卡拉哈里克拉通的板块会聚及俯冲,加丹加盆地发生倒转,沉积形成恩古巴群,

表 1 刚果(金)加丹加超群岩石地层序列

Table 1 Lithostratic sequences of Katangan Supergroup in Congo (Kinshasa)
(Cailteux et al., 1994; 2007; Francois, 1974; Kampunzu et al., 2005)

群	亚群	组	岩性	厚度/m
昆代隆古(以前称上昆代隆古) Ku	Biano Ku 3		长石砂岩、砾岩、砂岩、页岩	0~700
	Ngule Ku 2	Sampwe	白云质页岩、砂质页岩, 砂岩	550~750
		Kiubo	白云质砂岩、粉砂岩、泥质岩	
		Mongwe	白云质泥岩、粉砂岩和砂岩	
	Gombela Ku 1	Lubudi	粉红色鲕粒灰岩, 砂质碳酸岩	150~400
		Kanianga	含碳酸盐粉砂岩和页岩	0~50
		Lusele	粉红色至灰白色泥晶白云岩	250~410
	Kyandamu	小砾岩(冰碛陆源混积物)	30~50	
恩古巴 (以前称下昆代隆古) Ng	Bunkeya Ng 2	Monwezi	白云质砂岩、粉砂岩、泥质岩	100~200
		Katete	白云质砂岩、粉砂岩、页岩	
	Muombe Ng 1	Kipushi	含白云质页岩层的白云岩	150~350
		Kakontwe	碳酸盐岩 Zn-Cu-Pb	0
		Kaponda	碳酸质页岩和粉砂岩	20~50
		Mwale	大砾岩(冰碛陆源混积物)	500~1 000
罗 安 R	木瓦夏 R 4	Kanzadi R4.3	长石砂岩	50~100
		Kafubu R4.2	白云质页岩, 上部为砂岩、碳质页岩, 底部为蚀变粉砂岩、页岩	
		Kamoya R4.1	白云质页岩、粉砂岩、砂岩	
	迪佩特 R 3	Kansuki R3.4	白云岩、火山碎屑岩 Cu-Co (第四层矿)	1 000
		Mofya R3.3	白云岩、碎屑白云岩、白云质粉砂岩	
		R3.2	具砂岩或白色白云岩夹层的泥质白云质粉砂岩, 辉长岩侵入岩	
		R3.1	泥质白云质粉砂岩	100~250
	矿山 R 2	坎博韦 (Kambove) R2.3	叠层状、层纹状含泥质或滑石白云岩, 通常底部为砂岩, 上部含粉砂岩夹层 Cu-Co (第三层矿)	130~200
		白云质页岩 (Dolomitic-Shales) R2.2	R2.2.2-3 含碳层的白云质页岩, 有时为白云岩或长石砂岩	50~100
			R2.2.1 上部为碎屑白云岩, 底部为白云质页岩, 蒸发岩假晶 Cu-Co (上层矿)	10~15
坎莫托 (Kamoto) R2.1	叠层状白云岩、硅化/碎屑白云岩, 底部为灰白色泥质白云质粉砂岩, 与R.A.T.交界处具蒸发岩假晶 Cu-Co (下层矿)	22~50		
R.A.T. R 1	红色泥质白云质粉砂岩, 砂岩和泥质岩 (通常称为红色 R.A.T.), 基底未知	>235		
<900 Ma 基底含卵石砾岩				

并开始昆代隆古群的沉积作用(Cosi et al., 1992)。刚果克拉通与卡拉哈里克拉通之间的陆-陆碰撞高峰期大约在 530 Ma(John et al., 2004),至 500 Ma,形成昆代隆古群的沉积作用结束。泛非运动期间,卢菲利弧经历了 3 个不同模式的构造演化阶段。第 1 阶段(D1)为科卢韦齐阶段,发生于 750~600 Ma 期间,形成了卢菲利弧的外部褶皱推覆带和穹隆区(图 1 中的 I、II)表现为由南向北的强烈褶皱及逆掩推覆构造,正常褶皱轴面及断层面倾向南。第 2 阶段(D2)为 Monwezi 阶段,发生于 600~512 Ma 期间,表现为大规模左旋平移断层,由北向南相继发育了 NEE 向堪苏祇(Kansuki)断裂带、EW 向 Monwezi-Menda-Shinkolobwe 断裂带、NW 向 Lupoto 断裂带、NE 向 Mwembeshi 断裂带(赞比亚境内)等(其位置如图 2 中 V、VI、VII 所示)(Francois, 1974)。此时期,伴随加丹加基底的旋转,卢菲利弧的形态发生了巨大变化,东段走向为 NW 向,西段走向则为近 EW 向。第 3 阶段(D3)为 Chilatembo 阶段,发生于 512 Ma 之后,表现为生成垂直卢菲利弧走向的横向断裂及褶皱构造,断裂走向通常为近 NS 向(160~170°)和近 EW 向(70~80°),褶皱通常为开放的大型直立褶皱,走向由 NNE 至 NEE,区域上较大的横向构造以 Chilatembo 褶皱(图 2 中的 VIII)为代表(Kampunzu et al., 1999, 2009)。

区域内岩浆岩不发育,局部有侵入到基底杂岩中的花岗岩岩基以及侵位于加丹加超群中的辉长岩岩床和煌斑岩岩墙等。镁铁质侵入岩(765~735 Ma)侵位于迪佩特亚群中,而熔岩和凝灰岩主要呈夹层出现在木瓦夏亚群底部的沉积岩中(Kampunzu et al., 2003; Cailteux et al., 2007)。

2 铜钴矿床的分布及层控特征

加丹加铜钴矿带内铜钴矿床的空间分布除受罗安群严格控制外,与构造的关系十分密切,矿床明显受褶皱和断层的控制(Dewaele et al., 2006)。

2.1 矿床的空间分布

该矿带内铜钴矿床的空间分布,与区域构造所控制的罗安群以及横向上相关的地层单元沿卢菲利弧分布有关,自科卢韦齐至利卡西段呈 EW 向展布,利卡西至卢本巴希以南转为 SE 向,整体成弧形。加丹加铜钴成矿带包括以下几个次级成矿带:科卢韦齐(Kolwezi)矿带,腾凯(Tenke)-丰古鲁梅(Fungu-

rume)矿带,卡坎达(Kakanda)-坎博韦(Kambove)矿带,肯森达(Kinsenda)矿带(图 2 中的 I、II、III、IV)等。

科卢韦齐矿带、腾凯-丰古鲁梅矿带内铜钴矿床的资源量占加丹加铜钴矿带铜资源量的 26%、钴资源量的 19%,但其铜品位(1.0%~2.0%)和钴品位(0.1%~0.4%)相对较低。

穆索希和坎博韦等矿床的铜含量较高(>2.0%),钴含量不等(0.1%~0.5%),占加丹加铜钴矿带铜资源量的 56%、钴资源量的 61%。

Kalongwe 至 Etoile 的 Menda 和卢伊夏等矿床的资源量占加丹加铜钴矿带铜资源量的 18%和钴资源量的 20%,且其铜和钴的含量相对较高(铜>2.0%,钴 0.4%~0.6%)。矿床中镍(含量为 $n \times 10^{-4} \sim 0.5\%$)与钴伴生,常形成镍钴硫化物矿床(如欣科洛布韦)。

2.2 矿床的层控特征

刚果(金)加丹加铜钴矿带内与铜钴矿化关系密切的地层均为罗安群,分属于 4 个不同层位,自下而上分别是:矿山亚群的坎莫托组(编号 R2.1),白云质页岩组,又称为 S. D.(编号 R2.2),坎博韦组(编号 R2.3),迪佩特亚群的堪苏祇(Kansuki)组(编号为 R3.4)(见表 1)。

Dewaele 等(2006)对卢菲利弧加丹加铜钴矿带西段科卢韦齐至利卡西一带有记录的矿产地进行了系统的统计。在被统计的 155 处矿床(包括铜、钴、钼、铅等 10 余种矿产)中,层状铜钴矿床有 97 处,其中的 93 处产于矿山亚群内,另外 4 处可能产于迪佩特亚群中。

这些矿床在地层中的分布状况以及上述统计结果都显示,绝大多数的铜矿化和铜钴矿化呈层状,且赋存于罗安群中,表明加丹加铜钴矿带内的矿床具有明显的层控特征。

3 主要铜钴矿床类型及特征

加丹加铜钴矿带内,赋存铜钴矿床的岩性相对稳定,物质成分差异不大,均与碎屑岩-碳酸盐岩建造有关。一些学者以变质程度、围岩类型、成矿温度、矿床成因等为划分原则,对层状铜钴矿床类型提出多种划分方案。这些矿床的同生沉积成岩-后期热流改造-表生氧化富集等复合成因类型已得到广泛认可,这与加丹加超群为一套浅变质沉积岩系的

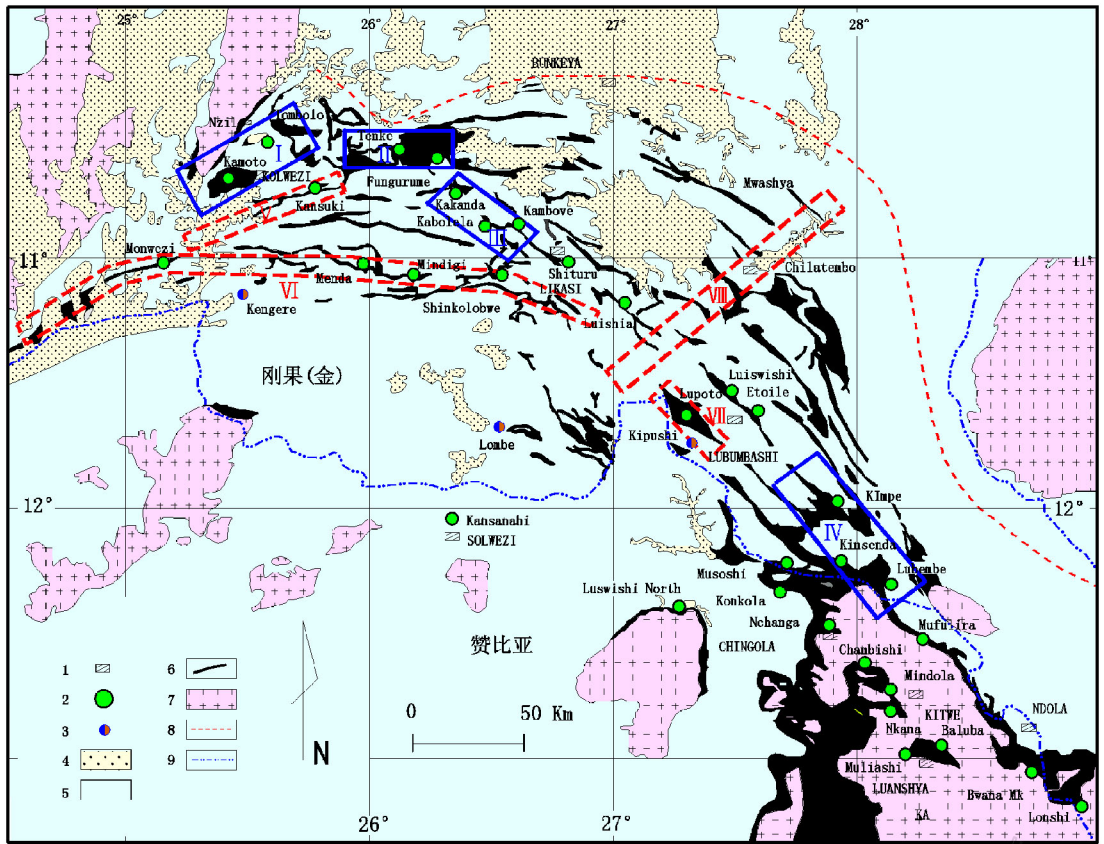


图 2 加丹加铜钴矿带内主要铜钴矿床分布图(据 Mendelsohn, 1961; Francois, 1974; Cailteux 等, 1994 改编)

1—城市; 2—层状铜钴矿床; 3—脉状铅锌(铜)矿床; 4—新生代盖层; 5—恩古巴群和昆代隆古群; 6—罗安群; 7—前加丹加基底; 8—卢菲利弧边界; 9—国界线; I—科卢韦齐矿带; II—腾凯-丰古鲁梅矿带; III—卡坎达-坎博韦矿带; IV—肯森达矿带; V—堪苏祁断裂带; VI—Monwezi-Menda-Shinkolobwe 断裂带; VII—卢波托断裂带; VIII—Chilatembo 褶皱带

Fig. 2 Map showing the distribution of copper-cobalt deposits in the Katangan copper-cobalt belt (modified after Mendelsohn, 1961; Francois, 1974; Cailteux et al., 1994)

1—City; 2—Stratiform copper-cobalt deposits; 3—Veinlike lead-zinc(copper) deposits; 4—Cenozoic cover; 5—Nguba and Kundelungu Group; 6—Roan Group; 7—Pre-Katangan basement; 8—Lufilian arc boundary; 9—National boundary; I—Kolwezi ore belt; II—Tenke-Fungurume ore belt; III—Kakanda-Kambove ore belt; IV—Kinsenda ore belt; V—Kansuki fault zone; VI—Monwezi-Menda-Shinkolobwe fault zone; VII—Lupo to fault zone; VIII—Chilatembo fold zone

岩石学研究结果是一致的^①。

据前人研究成果,笔者认为,产于罗安群内的层状铜钴矿床,其沉积成岩成矿机理近于一致,且矿床的初始成因类型是一致的。矿床沉积形成后普遍遭受了程度不等的区域变质、接触变质及动力变质作用的影响,特别是成矿期后的加丹加造山运动,使铜钴矿床产生了较大的分化,具体表现为矿体形态与分布特点、受热液改造的程度、矿石矿物组合、矿床

氧化程度等方面的差异。因此,笔者尝试在同生沉积成矿的基础上,依据加丹加造山运动对铜钴矿床的影响,提出了划分加丹加铜钴矿带层状铜钴矿床类型的新方案。

3.1 矿床类型划分

3.1.1 分类依据及方案

卢菲利弧及赋存其间的加丹加铜钴矿带经历了多期构造演化。卢菲利弧第1变形阶段(D1)所形成

① 李继宏, 姜根有. 2008. 刚果(金)加丹加省堪苏祁矿区堪苏祁-齐汤巴矿段铜钴矿详查报告. 中国冶金地质总局第一地质勘查院. 内部资料.

的逆掩推覆断层以及强烈褶皱,造成罗安群含矿地层抬升,以断层形式直接与恩古巴群、昆代隆古群接触,甚至逆冲到这些年轻地层之上,局部地层发生倒转,原生层状铜钴矿体的形态及分布受推覆断层以及褶皱构造的控制。第2变形阶段(D₂)的左旋平移断层活动,多沿迪佩特亚群上部蒸发岩层发生,左行平移活动使矿床得到一定程度的舒展,摆脱了第1形变阶段褶皱构造的影响,矿体呈层状或似层状展布,同时,区域动力变质作用加强,原生铜钴矿床受到热液改造,使其钴含量增高。第3变形阶段(D₃)的强度弱于前两个阶段,受横向褶皱及断裂构造叠加变形作用的影响,矿体变得更加支离破碎,也为矿床的深度氧化创造了条件。

依据卢菲利弧内铜钴矿床的空间分布规律,以及加丹加造山运动各变形阶段对诸矿床的改造程度,将加丹加铜钴矿带的层状铜钴矿床归纳为:受D₁变形作用改造的同生沉积铜钴矿床;受D₂-D₃变形作用改造的同生沉积-热液改造铜钴矿床。

有些矿床,如表2中的坎莫托、腾凯-丰古鲁梅、卡莫亚等铜钴矿床,受第1变形阶段褶皱构造的影响较大,矿体的形态及分布在宏观上受背、向斜构造的控制,主要分布在外部褶皱推覆带的北侧。另一些矿床,如表3中的堪苏祁、希图鲁,以及堪苏祁矿区南部的穆坦达(Mutanda)矿床,受第2变形阶段平移断层等线性构造及第3阶段形成的横向断层的影响,主要分布在外部褶皱推覆带的南侧(图2)。

3.1.2 矿床特征对比

受D₁变形作用改造的同生沉积铜钴矿床与受D₂-D₃变形作用改造的同生沉积-热液改造铜钴矿床之间,在矿床特征方面存在以下显著差异。

(1)控矿层位不同。前者的控矿地层为罗安群的矿山亚群;后者的控矿地层为罗安群的迪佩特亚群与木瓦夏亚群。

(2)控矿构造不同。前者是褶皱构造控制着矿体的形态与空间展布,矿床在平面上被分割为不连续的几个矿段;后者是线型构造如韧性剪切带控制着矿体的形态及空间展布,矿体呈层状、似层状,各矿段呈串珠状分布。

(3)矿床氧化深度不同。前者可分为氧化带(自地表向下20~50 m,最深达100 m)混合带和原生带;后者氧化程度较高,最深可达300 m,如堪苏祁,探矿工程尚未揭露到混合带矿石。

(4)次生及氧化矿石矿物组合不同。前者氧化带内铜矿物以孔雀石和辉铜矿为主;后者以孔雀石和水钴矿为主。

(5)铜钴比不同。前者钴含量相对较低,铜、钴比值较大;后者钴含量高,铜、钴比值较小。

(6)氧化带内铜钴矿物赋存状态不同。前者的铜以结合氧化铜为主;后者的铜以自由氧化铜为主,钴以自由氧化钴为主。

(7)受加丹加造山运动期或造山运动期后构造及变质热液的影响程度不同。前者受热液改造程度低;后者受热液改造程度高。

另外,受D₁变形作用改造的同生沉积铜钴矿床以坎博韦-卡莫亚矿床为典型代表,具多层矿化,通常包括下层矿、上层矿及第3层矿,空间上具明显垂直分带现象,矿床的钴、铜比值及氧化程度较低,但其资源(储)量规模大。受D₂-D₃变形作用改造的同生沉积-热液改造铜钴矿床以堪苏祁矿床为代表,呈带状分布,走向以NEE向、近EW向及NWW向为主。矿床的钴、铜比值较高,次生氧化作用强烈。

下文以坎博韦-卡莫亚矿床及堪苏祁矿床为例,分别介绍这2种矿床类型的主要控矿因素和矿床特征。

3.2 坎博韦-卡莫亚铜钴矿床

该矿床位于刚果(金)加丹加省,南东距利卡西市约20~25 km,包含坎博韦、卡莫亚中、南2、东2等10余个矿段。其地理坐标为东经26°33′36″~26°35′42″,北纬10°51′45″~10°43′42″。

20世纪60~70年代,刚果(金)国家矿业公司已开始了坎博韦大型铜钴矿床东段的勘查开发。对坎博韦西段卡莫亚矿化富集区的地质找矿工作则始于80年代,先后开展了地球物理和地球化学测量、地质填图、地表槽探及井探工程揭露、深部钻探工程控制等工作,提交了卡莫亚南2、卡莫亚东2、卡莫亚中等3个矿段的详查地质报告。探获控制类别以上的铜金属量50万吨,钴金属量5万吨,这2种矿产的资源(储)量均已达大型规模;氧化矿含铜3.3%,含钴0.3%;硫化矿含铜2.5%,含钴0.8%;平均钴、铜比值为1:10。

3.2.1 成矿地质环境

矿区位于加丹加铜钴矿带的中部,褶皱构造控制着区内矿体的分布,构造角砾岩在区内分布广泛。该矿床由3个东西向排列的向斜构造构成(图3)。

表 2 受 D1 变形作用改造的同生沉积铜钴矿床的特征
Table 2 Typical copper-cobalt deposits reformed by D1 deformation

矿床	地理位置	矿床地质特征及主要控矿因素	矿物组合	规模、品位	蚀变、氧化特征
坎莫托 (Kamoto)	科卢韦齐西 10 km, 东经 25° 25', 南纬 10° 40'。面积 152.35 km ²	包含坎莫托、Dima 和 Musonoie-T17 西区 3 个矿体, 其形态和分布受长 20 km、宽 10 km, 走向 NE 的椭圆形科卢韦齐向形构造的影响和控制。区内岩石变形强烈, 变质程度轻微, 局部分布有零星的镁铁质侵入岩体。矿化发育在罗安群的矿山亚群内, 上层矿, 厚 10 m, 下层矿, 厚 15 m。矿石呈细粒浸染状结构、块状构造	矿石矿物: 辉铜矿、斑铜矿、硫铜钴矿, 有少量黄铜矿。脉石矿物: 白云石、石英、绿泥石。表生氧化物组合: 孔雀石、硅孔雀石	铜 414.4 万吨, 平均品位 3.4%; 钴 36.2 万吨, 平均品位 0.3%	氧化深度可达 50~80 m, 次生富集带深度可达 300 m
腾凯-丰古鲁梅 (Tenke-Fungurume)	利卡西 NW 90 km, 东经 26° 11', 南纬 10° 34'。面积 1 437 km ²	矿床受迪佩特向斜控制, 该向斜轴向 EW, 长 14 km, 次级褶皱及横向断层发育, 局部地层倒转, 矿体呈巨型断块状分布。岩石变形作用强、变质程度低。无岩浆岩发育。矿化发育于罗安群的矿山亚群, 厚 5~15 m。已知有 Kwatebala、Goma、Fwaulu 3 个矿体。腾凯地区的氧化深度为 75 m, 丰古鲁梅地区的氧化深度为 125 m	金属氧化物: 孔雀石、硅孔雀石、水钴矿。硫化物: 辉铜矿、蓝辉铜矿、斑铜矿和硫铜钴矿, 有少量黄铜矿。脉石矿物: 白云石、石英	铜 216 万吨, 平均品位 2.1%; 钴 31 万吨, 平均品位 0.3%	表生氧化作用形成大量铜钴氧化物
卡莫亚 (Kamoya) (坎博韦西)	利卡西 NW 25 km, 东经 26° 37', 南纬 10° 52'	矿体的空间分布受 3 个 EW 向排列的向斜构造的控制, 构造角砾岩在区内分布广泛。含矿地层主要为罗安群矿山亚群的白云质页岩组, 坎博韦组内也有工业矿体发现。上层矿厚 5~10 m, 下层矿厚 5~8 m, 其间的夹层 R.S.C. 厚 18 m。垂向上矿体氧化分带明显: 0~20 m 为氧化带, 20~60 m 为混合带, 60 m 以下为硫化矿带。矿石结构主要为细粒变晶结构、半自形—他形粒状结构, 浸染状构造、条纹-条痕状构造、块状构造	氧化矿带: 孔雀石、硅孔雀石, 少量辉铜矿、斑铜矿。混合矿带: 孔雀石、辉铜矿、斑铜矿、硫铜钴矿、黄铜矿。硫化矿带: 黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、硫铜钴矿。脉石矿物主要为方解石、白云石、绿泥石、石英、滑石次之	铜 50 万吨, 钴 5 万吨。氧化矿含铜 3.3%, 含钴 0.3%。硫化矿含铜 2.5%, 含钴 0.8%	分为氧化带、混合带和硫化带

表 3 受 D2-D3 变形作用改造的同生沉积-热液改造铜钴矿床的特征
Table 3 Typical copper-cobalt deposits reformed by D2-D3 deformation

矿床	地理位置	矿床地质特征及主要控矿因素	矿物组合	规模、品位	蚀变、氧化特征
堪苏祁 (Kansuki)	科卢韦齐东 45 km, 东经 25° 48', 南纬 10° 44'。矿区面积 176 km ²	矿区位于卢菲利弧西段, 东西向长约 16~18 km 的(韧性剪切带)控制着矿体的产出与分布。赋矿地层为罗安群的迪佩特亚群, 地层向南倾, 倾角 20~58°, 横向构造发育。矿体赋存在矿化滑石片岩及矿化蚀变碎裂岩中, 长 130~884 m, 宽 10~72 m, 厚 6.05~50.21 m。矿化滑石片岩呈显微鳞片结构、泥状构造, 条带状构造、浸染状构造。矿化蚀变碎裂岩为碎裂结构、皮壳状结构, 块状构造、网脉状构造、松散土状构造。矿床受变质及热液改造作用强烈, 已知氧化深度大于 360 m	铜矿物主要为孔雀石、羟水氯铜矿和很少量的黄铜矿、铜蓝, 钴矿物主要为水钴矿和极少量的菱钴矿。脉石矿物主要为石英、滑石、绿泥石、绢云母、白云石等, 偶见电气石	铜 10 万吨, 平均品位 1.18%; 钴 6 万吨, 平均品位 0.75%	围岩蚀变为滑石化、绢云母化、赤铁矿化、高岭石化、硅化等
希图鲁 (Shitulu)	利卡西以南 1 km, 东经 26° 45' 45", 南纬 11° 0' 45"。面积约 1 km ²	地层受背斜控制, 两翼均向南倾, 倾角 55~90°, 沿背斜轴向, 顶部发育 NW 向断裂带, 矿化主要发育在背斜南翼。至少有 3 条 NE 向断层横切希图鲁背斜构造。容矿围岩堪苏祁组的岩性为白云岩与火山碎屑岩, 地层一般为 NW 走向, 倾角 60° 南, 近地表风化和蚀变作用强烈, 白云岩蚀变为滑石质白云岩或厚层滑石片岩带。下层矿长 800 m, 平均真厚度约 25 m, 上层矿长 500 m, 平均真厚度约 15 m, 两个主矿化带相距 25~40 m	地表以下约 130 m 矿化主要为孔雀石、水钴矿和硅孔雀石。深部硫化物主要为斑铜矿、黄铜矿和辉铜矿, 与孔雀石和硅孔雀石混合在一起。可见自然铜和黄铁矿, 但钴矿化较弱	铜 754.5 万吨, 平均品位 4.38%, 钴 0.07%。地表较深部富	地表为氧化带, 深 130 m, 下部已见混合带

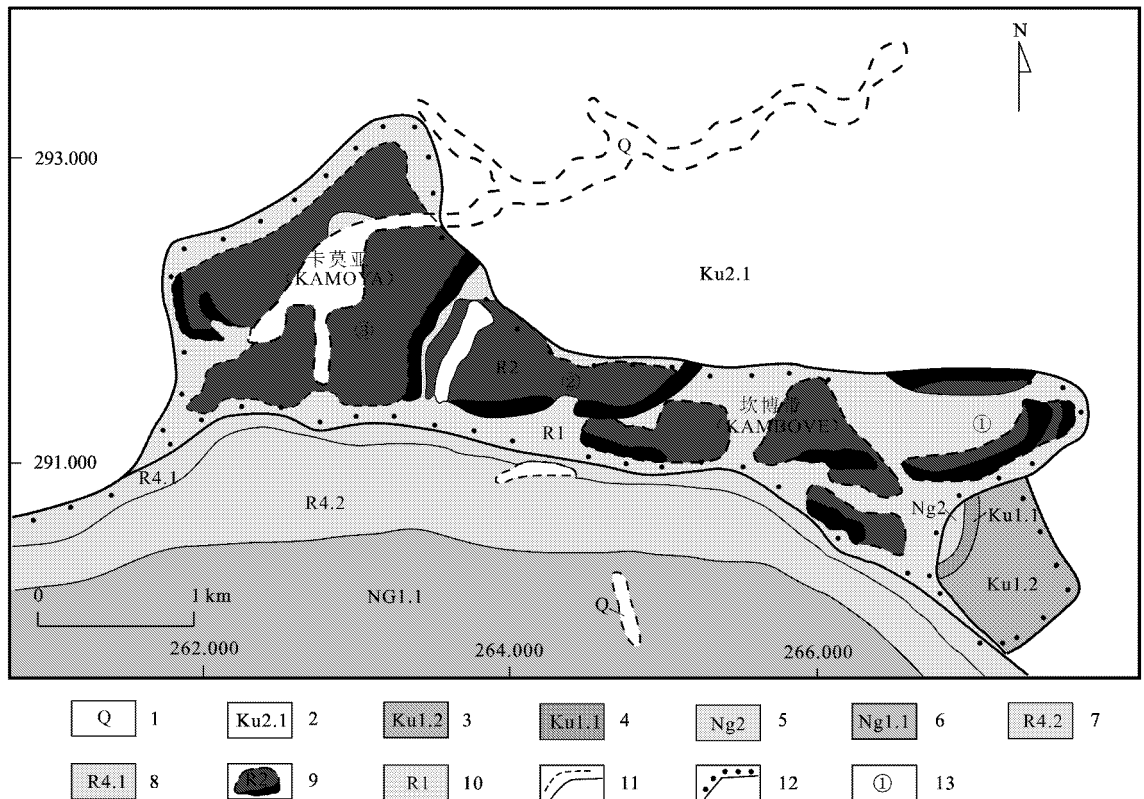


图3 坎博韦-卡莫亚铜钴矿床地质图(据 Cailteux, 1984 改编)

1—第四系; 2—Ngule 亚群 Mongwe 组; 3—Gombela 亚群 Lusele 组; 4—Gombela 亚群 Kyandamu 组; 5—Bunkeya 亚群; 6—Muombe 亚群 Mwale 组; 7—木瓦夏亚群 Kafubu 组; 8—木瓦夏亚群卡莫亚(Kamoya)组; 9—矿山亚群; 10—RAT 亚群; 11—推测或实测地质界线; 12—不整合界线; 13—向形构造位置及编号

Fig. 3 Geological map of Kambove-Kamoya copper-cobalt deposit (modified after Cailteux, 1984)

1—Quaternary; 2—Mongwe Formation of Ngule Subgroup; 3—Lusele Formation of Gombela Subgroup; 4—Kyandamu Formation of Gombela Subgroup; 5—Bunkeya Subgroup; 6—Mwale Formation of Muombe Subgroup; 7—Kafubu Formation of Mwashya Subgroup; 8—Kamoya Formation of Mwashya Subgroup; 9—Mines Subgroup; 10—RAT Subgroup; 11—Inferred or measured geological boundary; 12—Unconformity; 13—Location and serial number of syncline

其含矿地层为加丹加超群罗安群的矿山亚群,有3个含矿地层单元,即坎莫托组、白云质页岩组和坎博韦组。

坎莫托组的岩性主要为叠层状白云岩、硅化/碎屑白云岩,底部为灰白色泥质白云质粉砂岩。从下至上划分为 Grey R. A. T.、D. S. T.、R. S. F.、R. S. C. 4个岩性段,下层矿(OBI)在 Grey R. A. T.、D. S. T.、R. S. F. 等3个岩性段均有发育。

白云质页岩组分为2个岩性段:上部为含碳层的白云质页岩,有时为白云岩或长石砂岩;底部为碎屑白云岩、白云质页岩。矿化发育在下岩性段,该层矿体被简称为 OBS(上层矿)。R. S. C. 地层是上层矿与下层矿的分界线,一般不含矿,但局部地段具较强的铜钴矿化。

有些文献称坎博韦组(R2.3)的下段 R2.3.1 为 C. M. N., 其岩性为含少量碳质滑石质的白云岩,顶部偶见鲕粒和晶粒层、叠层石、纹层状白云岩、块状叠层石白云岩,底部为层状白云质页岩,是“第三层矿”的产出层位。卡莫亚主矿段和东2矿段内 C. M. N. 的铜含量可达 2%,但其钴含量较低,一般小于 0.1%。

3.2.2 矿体特征

矿体空间分布较为分散,但明显受向斜构造的控制。因受断裂构造及褶皱构造的影响,局部地段出现矿体错断现象,矿体形态亦随褶皱发生扭曲,如南2矿段(图4)。

在垂向上,矿体矿化分带明显,自地表露头向下 20 m 为氧化矿带,20~60 m 为混合矿带,60 m 以下

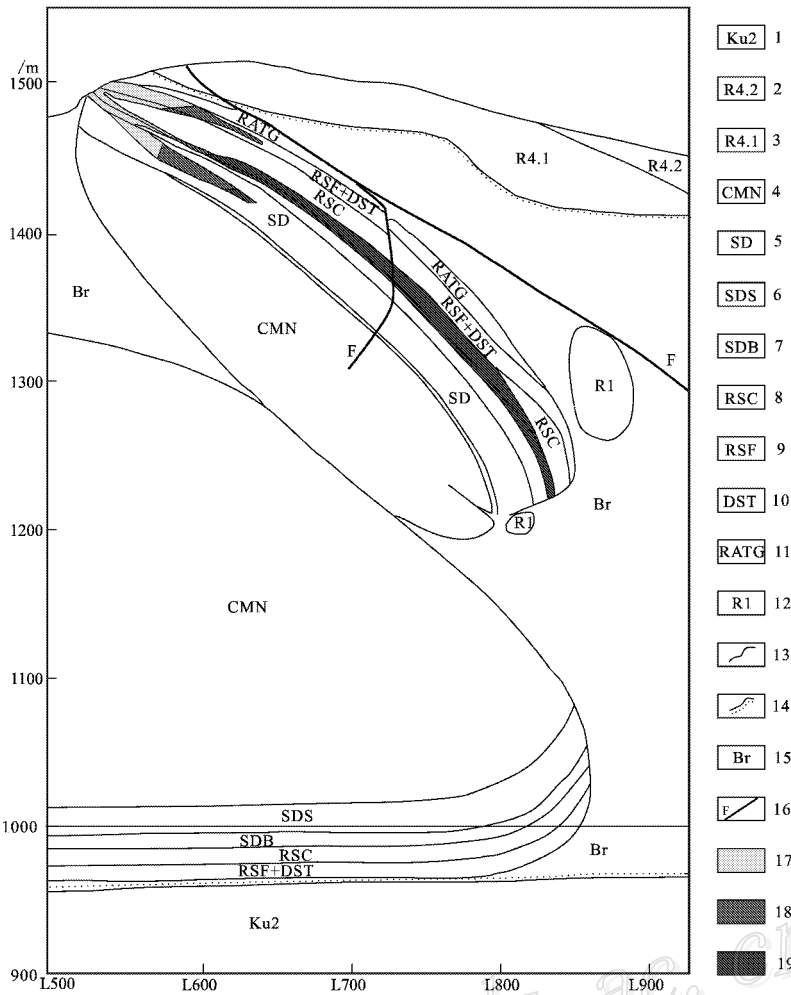


图 4 坎博韦-卡莫亚铜钴矿床南 2 矿段 T+500 勘探线剖面图(据 Cailteux, 1992 改编)

- 1—Ngule 亚群；2—Kafubu 组；3—卡莫亚组；4—黑色矿化碳酸盐 (R2.3)；5—白云质页岩组 (R2.2)；
- 6—白云质页岩组上段 (R2.2.2)；7—白云质页岩组下段 (R2.2.1)；8—透镜状硅质白云岩 (R2.1.4)；9—层状粉砂质白云岩 (R2.1.3)；10—层状白云岩 (R2.1.2)；
- 11—灰白 RAT (R2.1.1)；12—红色 RAT 亚群；13—地层界线；14—不整合界线；15—构造角砾岩；16—断层；17—氧化矿带；
- 18—混合矿带；19—硫化矿带

Fig. 4 T+500 exploration line of South 2 ore block in the Kambove-Kamoya copper-cobalt deposit (modified after Cailteux, 1992)

- 1—Ngule Subgroup；2—Kafubu Formation；3—Kamoya Formation；4—Carbonates with black ores (R2.3)；5—Dolomitic shales (R2.2)；
- 6—Upper Dolomitic shales (R2.2.2)；7—Lower Dolomitic shales (R2.2.1)；8—Siliceous cellular rocks (R2.1.4)；9—Siliceous laminated rocks (R2.1.3)；10—Stratified dolomites (R2.1.2)；11—Grey RAT (R2.1.1)；12—Red RAT Subgroup；13—Geological boundary；
- 14—Unconformity；15—Breccia；16—Faults；17—Oxidized ore zone；18—Mixed ore zone；19—Sulphide ore zone

为原生矿带。矿体特征如下。

卡莫亚中矿段 长 1 100 m,走向 NNE,倾角 25~45°W,向下延伸 100 m 左右;其上层矿厚 5~10 m,下层矿厚 8~10 m,夹层 R.S.C.厚 13~25 m,铜平均品位 2.5%,钴平均品位 0.2%。

南 2 矿段 长 230 m,走向近 EW,倾角变化大 (30~45~70°S),垂向下延约 250 m;上层矿厚 10 m,下层矿厚 8 m,夹层 R.S.C.厚 18 m,局部矿化;铜平均品位 2.5%,钴平均品位 0.8%。

东 2 矿段 长 750 m,走向近 EW,倾角 45°S;上层矿厚 5 m,下层矿厚 8 m,夹层 R.S.C.厚 13 m,通常不含矿化,铜平均品位 2.7%,钴平均品位 0.2%。

按赋矿岩性的差异,矿石类型可划分为硅质碎屑岩型和白云岩型 2 种自然类型;根据矿石氧化程度不同,可分为氧化矿、混合矿和硫化矿 3 种工业类型。矿石结构主要为细粒变晶结构、他形粒状结构、半自形-他形粒状结构,浸染状构造、条纹-条痕状构造、块状构造。

氧化矿带矿物有孔雀石、硅孔雀石,含少量辉铜矿、斑铜矿;混合矿带矿物有孔雀石、辉铜矿、斑铜矿、硫铜钴矿、黄铜矿,硫化矿带矿物有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、硫铜钴矿、碲碲镍钴矿。非金属矿物主要为方解石、白云石、绿泥石、石英、滑石次之。

3.2.3 矿物共生组合及世代

由 Cailteux(1983;1986)对坎博韦-卡莫亚矿床内岩石矿物的研究结果可知,该矿床具有多种浸染状金属硫化物共生组合。根据金属硫化物之间的结构关系,可分出3个硫化物世代。

硫化物-I 以黄铁矿为主,仅在矿体上、下盘可见,呈球丛状黄铁矿颗粒,被成岩石英和白云石包裹。

硫化物-II 是主要的铜硫化物阶段,其矿物生成顺序为黄铜矿→斑铜矿→蓝辉铜矿→硫铜钴矿。

硫化物-III 矿物生成顺序为黄铁矿→黄铜矿→斑铜矿→硫铜钴矿,该阶段形成的硫化物颗粒包裹有脉石矿物(绿泥石、白云石、石英)以及前面阶段所形成的浸染状铜硫化物。

3.2.4 矿床成因探讨

Hoy等(1989)所测得的同位素数据和 Greyling等(2002)所获得的流体包裹体数据以及野外观测表明,2个主要硫化物世代的成因为:早期硫化物(占硫化物总量的50%~75%)与早期成岩作用同生形成,而晚期硫化物(占硫化物总量的25%~50%)则形成于卢菲利造山运动期间,由变质流体改造同生成岩矿物而成(Cailteux et al.,1995;Cailteux,1997;Kampunzu et al.,1999)。

Cailteux等(2005)测定了中非铜带刚果(金)段铜钴矿床内金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值,其变化范围为-9.8‰~+18.7‰。硫同位素比值的宽幅变化表明,硫为成岩硫化物与海水硫酸盐的混合硫。

坎博韦-卡莫亚矿床内脉石矿物(白云石、菱镁矿、石英)中的流体包裹体可分为2种类型:①两相(液-气):白云石或石英内的小颗粒包裹体,含自由二氧化碳,形成温度约为70℃,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为7%~10%;②三相(固-液-气):蜂窝状硅质白云岩中白云石晶粒内的包裹体有3种固相子矿物(氯化钠、氯化钾和硫酸钙),并含有二氧化碳,其形成温度 $\geq 200^\circ\text{C}$,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 约为40%。低温低盐度流体(可能是盆地沉积特征)可能是早期成岩卤水,而高温高盐度流体则可能来源于后期区域变质事件(Cailteux et al.,2005)。

层状铜钴矿石的放射性铅同位素类似于约700 Ma的钙碱性岩石的铅同位素,即 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 约为18.1, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 约为15.6, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 约为37.9,属典型的壳源(Kamona et al.,1999)。

锆石 U-Pb 年龄数据(Rainaud et al.,2005)表明,罗安群沉积于880~735 Ma,也是同生沉积层状铜钴矿的形成年龄。

综合前人在矿床地球化学及矿床特征等方面的研究成果,笔者认为,坎博韦-卡莫亚矿床的形成与含矿地层罗安群的沉积成岩作用关系密切,由于受加丹加造山运动的影响,其成矿物质出现再次活化、迁移和重新富集,矿体形态发生错断和扭转。

3.3 堪苏祁铜钴矿床

堪苏祁矿区位于刚果(金)加丹加省科卢韦齐市以东约40~60 km处,其地理坐标为东经 $25^\circ 45' 00''$ ~ $25^\circ 57' 30''$,南纬 $10^\circ 42' 30''$ ~ $10^\circ 48' 30''$,面积176 km²。

早在20世纪60年代,欧美地质学家就在赞比亚-刚果(金)铜矿带开展了区域地质调查。2005年下半年,华北地质勘查局天津地质研究所在该区开展了一期地质勘查工作。2006年5月至2007年9月,中国冶金地质总局第一地质勘查院在该区开展了二期地质勘查工作,对堪苏祁1和齐汤巴2个矿段进行了地质详查工作,详查区面积1.67 km²,并于2008年1月提交了详查报告,探获铜金属量近10万吨、钴金属量6万吨,矿床的平均品位分别为Cu 1.18%和Co 0.75%,平均钴铜比为1:1.56。

3.3.1 成矿地质环境

堪苏祁矿区位于加丹加铜钴矿带的西段。区内出露的地层主要为罗安群的卡莫亚(Kamoya)组、堪苏祁(Kansuki)组和Mofya组(图5)。区内岩浆活动不发育,地表未见有岩浆岩出露。

区内地层层序发生倒转,岩性为一套泥质、白云质、碳质的海相碎屑岩,由泥质石英岩、长石砂岩、泥质岩、白云岩、碳质页岩等组成,岩石普遍遭受浅变质作用。卡莫亚组位于矿带的下部,由与粉砂岩呈互层的白云质板岩、泥质板岩组成,局部夹有灰岩透镜体,厚约200 m。堪苏祁组受多期构造运动的影响,发育矿化蚀变岩、滑石片岩及透镜状白云岩或灰岩及条带状赤铁矿,构成韧性剪切带,其内多发育灰岩透镜体、蚀变砂岩透镜体。Mofya组由已变质的长石砂岩和砾岩组成,并含杂砂岩和白云岩薄层,位于矿化带上部,厚约118 m。

区内构造十分发育,以断裂构造为主,褶皱构造较不发育。地层向南倾,倾角 $20 \sim 58^\circ$ 。EW 向韧性剪切带、NNE 向断裂、NNW 向断裂及 NW 向断裂构成了该区的主要构造格架。EW 向韧性剪切带控制着矿体的分布。

该剪切带位于矿区中部,沿山脊及其南侧呈舒缓波状展布,横穿整个矿区,地表出露长约 18 000 m,宽 $50 \sim 200$ m,平均宽约 60 m,具有膨缩现象,走向近 EW,倾向南,倾角 $20 \sim 40^\circ$,由矿化滑石片岩、矿化碎裂蚀变带、赤铁矿带组成,两盘岩石多见赤铁矿化和滑石化。

韧性剪切构造的表现形式为:① 厚层变质砂岩、白云岩等地质体,常被剪切成大小不等(数米至数十米)的构造透镜体;② 强变形与弱变形域、韧性变形与脆性破裂相间出现;③ 岩层间的面理构造与区域褶皱相伴生的轴面面理(S_1)相当,它置换了原始沉积层理(S_0),剪切变形中形成 S_c 面理,主要表现为强变形域中呈密集的(毫米至厘米级)刀切状

平直面理组的出现, S_m 面理发育不典型;④ 显微镜下常见石英颗粒的拉长走向、片状矿物定向绕流及石英波状消光、旋转碎斑和压力影等现象发育;⑤ 各种韧性剪切面理定向性矿物滑石广泛发育,石墨条带也时有见。

3.3.2 矿体特征

中国冶金地质总局第一地质勘查院在该矿区的堪苏祁 1-齐汤巴矿段共圈出 24 个矿体,其中单独铜矿体 12 个,单独钴矿体 2 个,铜钴共生矿体 10 个。以 K1Co-1 钴矿体为例,介绍矿体特征。

K1Co-1 钴矿体赋存在韧性剪切带内,呈脉状、透镜状,总体呈近 EW 向舒缓波状展布,倾向南,倾角 $10 \sim 40^\circ$,平均 25° ,在 1~15 线,具分枝复合现象(图 6)。该矿体地表延长 884 m,最宽处 72 m 左右,一般宽 10 m,最大厚度 50.21 m,最小厚度 6.05 m,平均厚度 16.48 m,最大控制延深 360 m。其平均钴品位 1.08%,铜品位 1.27%。该矿体的矿石工业类型为细粒铜钴氧化矿石,按围岩性质可划分

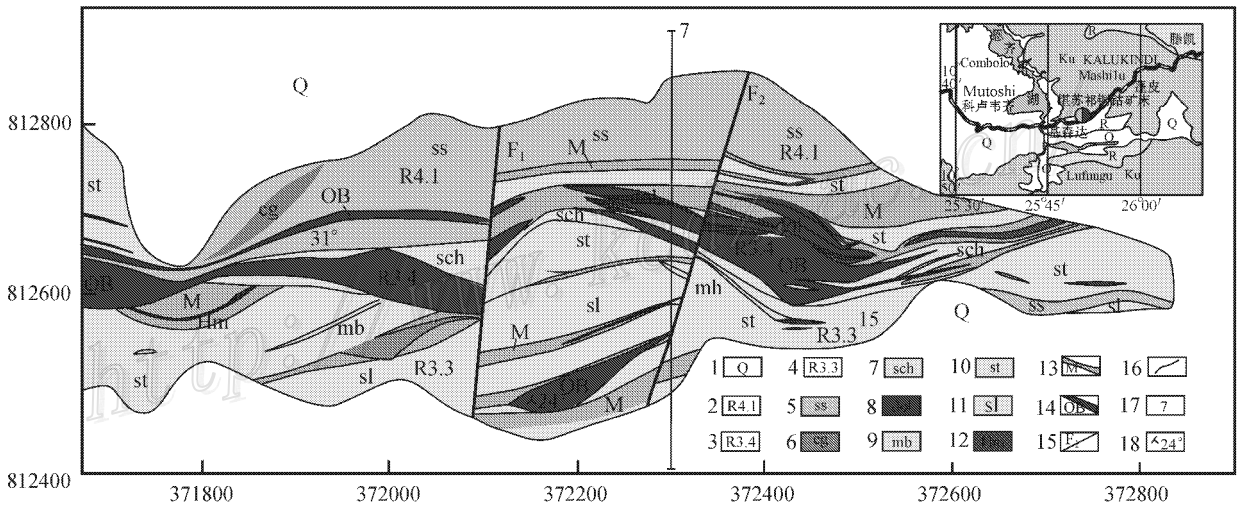


图 5 堪苏祁铜钴矿床堪苏祁 1 矿段地质图(据李继宏等 2008^①改编)

- 1—第四系;2—卡莫亚组;3—堪苏祁组;4—Mofya 组;5—长石石英砂岩;6—砾岩;7—滑石片岩;8—白云岩;9—鲕粒灰岩;
10—粉砂岩夹粉砂质板岩;11—泥质板岩夹粉砂岩;12—赤铁矿带;13—矿化蚀变带;14—矿体;15—断层及编号;16—地层界线;
17—勘探线及编号;18—地层产状

Fig. 5 Geology map of Kansuki 1 ore segment in the Kansuki copper-cobalt deposit (modified after Li et al., 2008)
1—Quaternary; 2—Kamoya Formation; 3—Kansuki Formation; 4—Mofya Formation; 5—Feldspar quartz sandstone; 6—Conglomerat; 7—Talc schist; 8—Dolomite; 9—Oolitic limestone; 10—Siltstone interbedded with silty slate; 11—Muddy slate interbedded with siltstone; 12—Hematite zone; 13—Altered mineralized zone; 14—Ore body; 15—Fault and serial number; 16—Geological boundary; 17—Prospecting line and serial number; 18—Attitude of strata

① 李继宏, 姜根有. 2008. 刚果(金)加丹加省堪苏祁矿区堪苏祁 1-齐汤巴矿段铜钴矿详查报告. 中国冶金地质总局第一地质勘查院. 内部资料.

为矿化滑石片岩型及矿化碎裂蚀变岩型矿石。矿化滑石片岩中的矿石主要呈微鳞片结构、泥状结构、放射针柱状结构、半自形-他形粒状结构、他形粒状结构、条带状构造、定向浸染状构造、不均匀浸染构造。矿化蚀变碎裂岩中的矿石为碎裂结构、皮壳状结构、他形粒状结构、变余砂状结构、残余结构、块状构造、角砾状构造、网状构造、松散土状构造、细脉状构造及稀疏浸染状构造。少数矿石可见不同矿物集合体呈纹层状分布,形成纹层状构造。

铜矿物主要为孔雀石、羟水氯铜矿[$\text{Cu}(\text{OH}, \text{Cl})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$]和很少量的黄铜矿、黄铁矿、铜蓝,钴矿物主要为水钴矿[$\text{Co}(\text{OH})$]和极少量的菱钴矿^①;其他金属矿物主要为褐铁矿、赤铁矿、锐钛矿。脉石矿物主要为石英、滑石、绿泥石、绢云母,有少量白云母和石英、白云石等,偶见电气石。

围岩蚀变类型比较复杂,主要有滑石化、绢云母化、褐铁矿化、赤(镜)铁矿化、高岭土化、硅化、白云母化、绿泥石化及白云石化。滑石化与铜钴矿化关系较密切。

3.3.3 矿石组成及铜、钴赋存状态

矿石的主要成分为 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 CuO 、 Co_2O_3 、 CaO 、 Al_2O_3 等。矿石中的主要矿化元素为铜、钴。

孔雀石在矿石中常以集合体的形式产出,呈他形粒状、束状、放射状,少数为放射球粒状、皮壳状、土状、脉状,其单体多呈隐晶质的土状、柱状、针状;水钴矿常与土状孔雀石、羟水氯铜矿、褐铁矿混杂分布,呈土状,局部呈针状放射状结构,部分水钴矿呈极细的机械混入物被包裹在石英中。

3.3.4 成矿阶段

堪苏祁铜钴矿床的矿化具有多个阶段,根据矿石结构、构造、有用组分赋存状态及矿物共生组合关系,结合野外观察,将其成矿过程划分为:沉积阶段(第1阶段)构造变质-热液改造阶段(第2阶段),次生氧化阶段(第3阶段)。

第1阶段,形成自形中粒黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、硫铜钴矿。

第2阶段,形成赤铁矿(镜铁矿)、磁黄铁矿、硫铜钴矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、铜蓝、红砷钴矿。

第3阶段,形成孔雀石、羟水氯铜矿、蓝铜矿、水

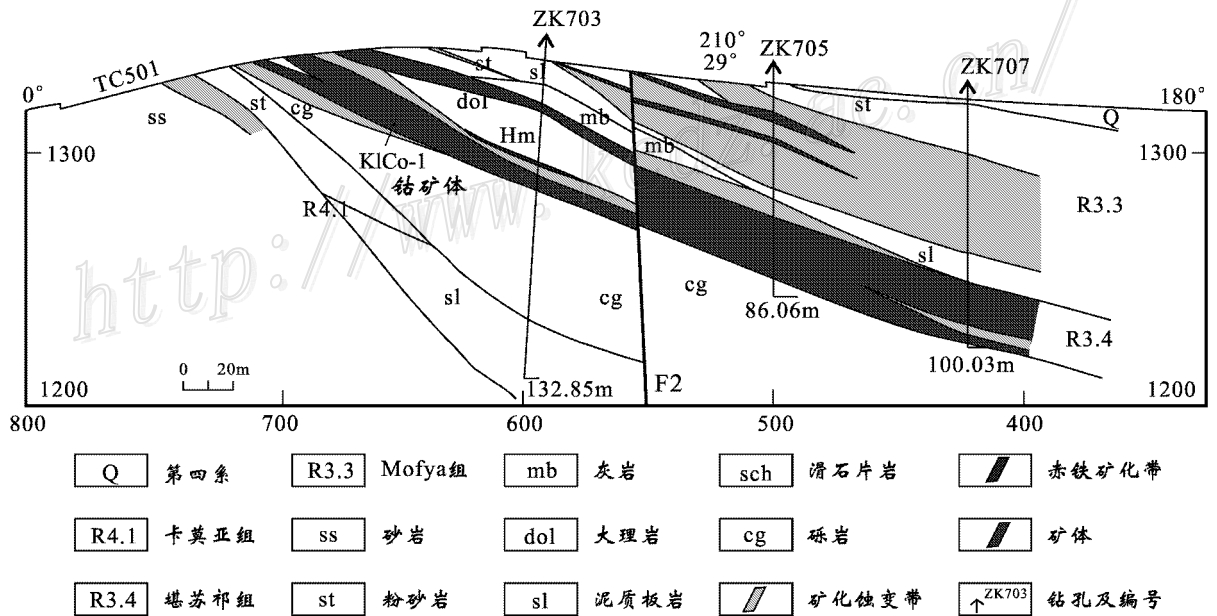


图6 堪苏祁铜钴矿床堪苏祁1矿段7勘探线剖面图(据李继宏等,2008^②改编)

Fig. 6 No. 7 exploration line of Kansuki 1 ore block in the Kansuki copper-cobalt deposit(modified after Li et al., 2008)

① 杨茂春,杨新华,等. 2008. 刚果(金)加丹加省堪苏祁铜钴矿矿石工艺矿物学研究报告. 昆明冶金研究院. 内部资料.
 ② 李继宏,姜根有. 2008. 刚果(金)加丹加省堪苏祁矿区堪苏祁1-齐汤巴矿段铜钴矿详查报告. 中国冶金地质总局第一地质勘查院. 内部资料.

钴矿、菱钴矿、褐铁矿。

3.3.5 矿床成因

围岩样品的氧同位素测定结果表明, $\delta^{18}\text{O}$ 最低为 22.03 ‰, 最高为 26.45 ‰, 落在沉积岩区。流体包裹体测温结果显示, 包裹体的最低均一温度为 153.2 °C, 最高均一温度为 324.2 °C, 平均为 241.45 °C, 说明该矿床的成矿温度为中温。激光拉曼光谱表明包裹体的气相成分以 N_2 、 CO_2 、 SO_2 、 F_2 、 NH_3 等为主, 液相以 H_2O 为主, 个别样品见有石盐子晶, 表明流体的盐度较高, 成矿流体具有变质热液的特征^①。

综合矿化地质特征及以上测试结果, 表明该矿床是由同生沉积作用形成的, 但受到 603~512 Ma 加丹加造山运动第 2 阶段热液活动的改造(Rainaud et al. 2005), 属沉积变质-热液改造型铜钴矿床。

4 建议进一步找矿方向

据前文, 受 D1 变形作用改造的同生沉积铜钴矿床主要分布在卢菲利弧外部褶皱推覆带的北缘, 目前该带已有许多在产在建的大型铜钴矿, 勘查与开发程度相对较高。其下一步找矿工作, 应围绕科卢韦齐推覆体、Gule-Tondo 推覆体、丰古鲁梅推覆体内已知铜钴矿床, 沿褶皱构造空间延伸方向追索赋矿地层罗安群的矿山亚群, 寻找该类型铜钴矿床。

自堪苏祁断裂带向南约 50 km, 在面积约 9 000 km^2 的区域内, 自西向东发育有 Kamukonko-Kanunka-堪苏祁、Kalumbwe-Myunga、Tilwezembe-Mutanda-Kisanfu-Shitulu、Kamaronga-Lufungu-Menda-Shinkolobwe 等次级成矿带, 是寻找受 D2-D3 变形作用改造的同生沉积-热液改造铜钴矿床的理想区域。该区目前勘查开发程度相对较低, 找矿潜力巨大。

另外, 产于迪佩特亚群的堪苏祁铜钴矿床, 其氧化深度超过 300 m, 表生氧化和淋滤富集作用又衍生出新的矿床类型, 如残-坡积型钴矿床等。这些矿床因埋藏浅、铜钴矿产品位高、矿石加工利用技术性能优异而具有较高的开发利用价值。因此, 在寻找原生铜钴矿床的同时, 也要注意寻找次生氧化及风化矿床。

志 谢 万宝矿产有限公司领导及同行对本文编写工作给予了大力支持, 天津华北地质勘查局地质研究所、中国冶金地质总局第一地质勘查院完成了相关勘查作业, 张作衡、谢桂青二位研究员仔细审阅了本文, 提出宝贵的修改意见, 在此表示衷心感谢!

References

- Armstrong R A, Master S and Robb L J. 2005. Geochronology of the Nchanga Granite, and constraints on the maximum age of the Katanga Supergroup, Zambian copper belt [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 42 : 32-40.
- Barron J W, Broughton D W, Armstrong R A and Hitzman M W. 2003. Petrology, geochemistry and age of gabbroic bodies in the Solwezi area, northwestern Zambia [A]. In : Cailteux J, ed. Proterozoic sediment-hosted base metal deposits of western Gondwana [C]. IGCP 450 conference and field workshop, Lubumbashi, 75-77.
- Batumike M J, Kampunzu A B and Cailteux J H. 2006. Petrology and geochemistry of the Neoproterozoic Nguba and Kundelungu Groups, Katanga Supergroup, southeast Congo: Implications for provenance, paleoweathering and geotectonic setting [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 44 : 97-115.
- Cailteux J L H. 1983. Le Roan shabien dans la région de Kambove (Shaba-Zaire) [M]. Etude sédimentologique et métallogénique. The'se de Doctorat en Sciences Appliquées, University of Liège (Belgium), 232, in French.
- Cailteux J L H. 1984. Prospection Des Ecailles S. D. M. De Kamoye-EST (Kambove) Estimation E-288 Du Gisement EST-2 [R]. (in French).
- Cailteux J L H. 1986. Diagenetic sulphide mineralization within the stratiform copper-cobalt deposit of West Kambove (Shaba-Zaire) [A]. In : Friedrich G H, Genkin A D, Naldrett A J, Ridge J D, Sillitoe R H and Vokes F M, ed. Geology and metallogeny of copper deposits, Part IV, Sediment-hosted deposits [C]. 27th International Geological Congress, Moscow (1984), Special Publication 4, Society for Geology Applied to Mineral Deposits. Heidelberg: Springer-Verlag. 398-411 (in French).
- Cailteux J L H. 1992. Le Gisement cupro-cobaltifère de Kamoye Sud-2A Kambove resultat des prospections [J]. *Geologiques Et Estimation*, E : 300.
- Cailteux J L H, Kampunzu A B and Lubala R T. 1994. Lithostratigraphy of the Neoproterozoic Shaba-type (Zaire) Roan Supergroup and metallogenesis of associated stratiform mineralization. In Neoproterozoic Belts of Zambia, Zaire and Namibia [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 19 : 279-301.

① 李继宏, 姜根有. 2008. 刚果(金)加丹加省堪苏祁矿区堪苏祁 1-齐汤巴矿段铜钴矿详查报告. 中国冶金地质总局第一地质勘查院. 内部资料.

- Cailteux J L H and Kampunzu A B. 1995. The Katangan tectonic breccias in the Shaba province (Zaire) and their genetic significance [A]. In: Wendorff M and Tack L, ed. Late Proterozoic belts in Central Africa [C]. Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren, Belgique. *Annales des Sciences Géologiques*, 101: 63-76 (in French).
- Cailteux J L H. 1997. Minéralisations à U-Pb-Se-Mo-Ni dans le gisement stratiforme cupro-cobaltifère de Kambove-Ouest (Shaba, Rép. Zaïre) [A]. In: Charlet J M, ed. Colloque international cornet, gisements stratiformes de cuivre et minéralisations associées, Mons (1994) [C]. Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer. 245-268 (in French).
- Cailteux J L H, Kampunzu A B, Lerouge C, Kaputo A K and Milesi J P. 2005. Genesis of sediment-hosted stratiform copper-cobalt deposits, central African copper belt [A]. In: Robb L, Cailteux J L H and Sutton S, ed. Recent advances in the geology and mineralization of the Central African copper belt [C]. *Journal of African Earth Sciences*, 42: 134-158.
- Cailteux J L H, Kampunzu A B and Lerouge C. 2007. The Neoproterozoic Mwashya-Kansuki sedimentary rock succession in the central African copper belt, its Cu-Co mineralisation, and regional correlation [J]. *Gondwana Research*, 11: 414-431.
- Cosi M, De Bonis A, Gosso G, Huntziker J, Martinotti G, Moatto S, Robert J P and Ruhlman F. 1992. Late Proterozoic thrust tectonics, high-pressure metamorphism and uranium mineralisation in the Domes area, Lufilian Arc, northwestern Zambia [J]. *Precambrian Research*, 58: 215-240.
- Greyling L N, Yao Y, Robb L J and Master S. 2002. Contribution to the geology and mineralization of the central Africa Copperbelt: III-nature of metamorphic and epigenetic fluids [A]. In: 11th Quadrennial IAGOD Symposium and Geocongress 2002 [C]. Extended Abstracts on CD-ROM, Windhoek (Namibia), 4.
- Dewaele S, Muchez P H, Vets J, Fernandez-Alonso M and Tack L. 2006. Multiphase origin of the Cu-Co ore deposits in the western part of the Lufilian fold-and-thrust belt, Katanga (Democratic Republic of Congo) [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 46: 455-469.
- Francois A. 1974. Stratigraphie, tectonique et minéralisations dans l'Arc cuprifère du Shaba (Rép. du Zaïre) [A]. In: Bartholomé P, ed. Gisements Stratiformes et Provinces Cuprifères [C]. Centenaire de la Société Géologique de Belgique, Liège. 79-101 (in French).
- Hoffmann K H, Condon D J, Bowring S A and Crowley J L. 2004. U-Pb zircon dates for the Neoproterozoic Ghaub Formation, Namibia: Constraints on Marinoan glaciation [J]. *Geology*, 32: 817-820.
- Hoy L D and Ohmoto H. 1989. Constraints for the genesis of redbed-associated stratiform Cu deposits from sulphur and carbon mass-balance relations [A]. In: Boyle R W, Brown A C, Jefferson C W, Jowett E C and Kirkham R V, ed. Sediment-hosted stratiform copper deposits [C]. Geological Association of Canada, Special Paper, 36: 135-149.
- John T, Schenk V, Mezger K and Tembo F. 2004. Timing and P-T evolution of whiteschist metamorphism in the Lufilian Arc-Zambezi belt orogen (Zambia): Implications for the assembly of Gondwana [J]. *Journal of Geology*, 112: 71-90.
- Kamona A F, Lévêque J, Friedrich G and Haack U. 1999. Lead isotopes of the carbonate-hosted Kabwe, Tsumeb, and Kipushi Pb-Zn-Cu sulphide deposits in relation to Pan African orogenesis in the Damaran-Lufilian fold belt of Central Africa [J]. *Mineralium Deposita*, 34: 273-283.
- Kampunzu A B and Cailteux J. 1999. Tectonic evolution of the Lufilian Arc (central African copper belt) during Neoproterozoic Pan African orogenesis [J]. *Gondwana Research*, 3: 401-421.
- Kampunzu A B, Tembo F, Matheis G, Kapenda D and Huntsman-Mapila P. 2003. Geochemistry and tectonic setting of mafic igneous units in the Neoproterozoic Katangan basin, central Africa: Implications for Copperbelt ore deposits [A]. In: Cailteux J, ed. Proterozoic sediment-hosted base metal deposits of western Gondwana [C]. IGCP 450 conference and field workshop, Lubumbashi. 64-68.
- Kampunzu A B, Cailteux J L H, Moine B and Loris H N B T. 2005. Geochemical characterisation, provenance, source and depositional environment of Roches Argilo-Talqueuses (RAT) and Mines Subgroups sedimentary rocks in the Neoproterozoic Katangan Belt (Congo): Lithostratigraphic implications [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 42: 119-133.
- Kampunzu A B, Cailteux J L H, Kamona A F, Intiomale M M and Melcher F. 2009. Sediment-hosted Zn-Pb-Cu deposits in the Central African Copperbelt [J]. *Ore Geology Reviews*, S0169-1368(09)00004-3.
- Mendelsohn F. 1961. The Geology of the Northern Rhodesian Copperbelt [M]. London: MacDonald.
- Rainaud C, Master S, Armstrong R A and Robb L J. 2003. A cryptic Mesoproterozoic terrane in the basement to the Central African Copperbelt [J]. *Journal of the Geological Society, London*, 160: 11-14.
- Unrug R. 1988. Mineralisation controls and source of metals in the Lufilian Fold Belt, Shaba (Zaire), Zambia and Angola [J]. *Econ. Geol.*, 83: 1247-1258.